

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REC'D 26 AUG 2003

WIPO

PCT



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 39 304.4

Anmeldetag: 27. August 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Ermittlung des Gewinnspek-
trums eines Raman-Verstärkers in einem
WDM-Übertragungssystem

IPC: H 04 B, H 01 S, H 04 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Eberl

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung des Gewinnspektrums eines Raman-Verstärkers in einem WDM-Übertragungssystem

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Ermittlung des Gewinnspektrums eines Raman-Verstärkers gemäß den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 7.

- 10 Die Anwendung der verteilten Raman-Verstärkung in der Übertragungs-
faser erlaubt eine deutliche Verbesserung der Eigen-
schaften optischer Übertragungssysteme. Beispielsweise lassen
sich bei gleichem optischen Signal-Rauschabstand am Strecke-
nende durch den Einsatz dieser Technik die Längen der einzel-
15 nen Streckenabschnitte vergrößern oder es lassen sich mehr
Streckenabschnitte überbrücken.

- Beim Einsatz der Technik in WDM-Systemen sollte der Raman-
Gewinn ein flaches Gewinnspektrum aufweisen, damit alle Kanäle
20 le gleichermaßen profitieren. Andernfalls wird die erzielbare
Systemverbesserung durch den Kanal mit dem geringsten Gewinn
begrenzt. Der höhere Gewinn der anderen Kanäle entspricht einer
ineffizienten Nutzung der eingesetzten Pumpleistung und
kann bei sehr großen Abweichungen deren Signalqualität durch
25 doppelte Rayleigh-Rückstreuung verschlechtern.

- Ein flaches Gewinnspektrum über einen breiten Wellenlängenbereich
lässt sich durch den Einsatz mehrerer Pumpsignale mit
unterschiedlichen Wellenlängen erzielen. Das gewünschte Ge-
30 winnspektrum ergibt sich jedoch nur für eine ganz bestimmte
Verteilung der Leistungen bei den einzelnen Pumpwellenlängen.
Diese müssen an den erforderlichen Gewinn, die Lage der Pump-
wellenlängen relativ zu den Signalwellenlängen, die Einfüge-
dämpfung zwischen der Pumpquelle und der Übertragungsfaser
35 und die Eigenschaften der Übertragungsfaser angepasst werden.

Die für die Raman-Verstärkung relevanten Eigenschaften der Übertragungsfaser können auch bei Fasern eines Typs (SSMF, LEAF, TrueWave,...) von Exemplar zu Exemplar so stark streuen, dass sich spürbare Unterschiede der resultierenden Gewinnsspektren ergeben. Weiterhin liegen bei der Installation des Systems meistens keine Kenntnisse über die Einfügedämpfung zwischen der Pumpquelle und dem eigentlichen Eingang der Übertragungsfaser vor. Ein gewünschtes Gewinnsspektrum lässt sich daher bei Inbetriebnahme des Systems nur einstellen, wenn das aktuell vorliegende Gewinnsspektrum in jedem Streckenabschnitt gemessen werden kann und die Pumpleistungen bei Abweichungen entsprechend angepasst werden.

Bislang sind im wesentlichen vier Verfahren zur Einstellung der Pumpleistungen der Raman-Quellen bei der Inbetriebnahme des Systems bekannt. Das erste Verfahren lässt sich anwenden, wenn das System mit maximaler Kanalzahl in Betrieb geht. In diesem Fall werden die Streckenabschnitte, hinter dem Sender beginnend, einer nach dem anderen hochgefahren. Da bei der Inbetriebnahme bereits alle Kanäle vorhanden sind, können diese als Mess-Signalspektrum für eine Gewinnmessung dienen. Es wird zunächst das Signalspektrum am Ausgang des Streckenabschnitts bei ausgeschalteter Raman-Pumpquelle und anschließend das Spektrum bei eingeschalteter Quelle gemessen. Das Verhältnis der beiden Spektren bzw. die Differenz der Pegel in dB ergibt unmittelbar das an/aus Gewinnsspektrum des Raman-Verstärkers.

In der Praxis lässt sich das Verfahren leider selten einsetzen, weil die meisten Systeme nur mit einer sehr kleinen Zahl von Kanälen in Betrieb genommen und erst später hochgerüstet werden. Eine Messung und Einstellung des Gewinnsspektrums nur mit den anfangs bereits vorhandenen Signalkanälen wäre zwar prinzipiell möglich, da der Gewinn bei den noch fehlenden Kanälen keine Rolle spielt. Spätestens bei der Inbetriebnahme weiterer Kanäle müsste das Gewinnsspektrum dann erneut vermessen und abgeglichen werden. Das dafür erforderliche Abschalt-

ten der Raman-Pumpquelle würde die Übertragung der bereits vorhandenen Kanäle stören. Daher sollte das Gewinnspektrum bereits bei der Erstinbetriebnahme des Systems für alle im Endausbau vorhandenen Kanäle vermessen und abgeglichen werden.

Beim zweiten bekannten Verfahren zur Einstellung der Pumpleistungen werden die bei der Erstinbetriebnahme noch nicht vorhandenen Kanäle durch eine in der Wellenlänge abstimmbare Laserquelle ersetzt. Die Ermittlung des Signalspektrums am Ausgang des Streckenabschnitts mit aus- bzw. eingeschalteter Raman-Pumpquelle erfordert daher viele Einzelmessungen, zwischen denen die durchstimmbare Laserquelle zum nächsten Kanal umgeschaltet werden muss. Das Verfahren benötigt neben einer deutlich längeren Messzeit eine Kommunikationsmöglichkeit zur Quelle, damit dieser mitgeteilt werden kann, wann sie welche Wellenlänge einstellen soll. Weiterhin kann die Bereitstellung der Quelle und die Einkoppelung des Ausgangssignals in das Übertragungssystem Probleme bereiten.

Um auf die durchstimmbare Laserquelle verzichten zu können, wurde ein drittes Verfahren zur Messung des Gewinnspektrums vorgeschlagen, das völlig ohne Messsignal am Eingang des Streckenabschnitts auskommt. Das Verfahren nutzt den Effekt, dass die für den Gewinn verantwortliche stimulierte Emission unweigerlich mit der Generation von spontaner Emission einhergeht. Daher wird das Spektrum der vom Raman-Verstärker generierten ASE gemessen und versucht, daraus das Gewinnspektrum zu berechnen. Da verteilte Raman-Verstärker einen sehr komplexen Zusammenhang zwischen dem Gewinnspektrum und dem Spektrum der ASE aufweisen, ist die Berechnung sehr aufwändig und fehleranfällig.

Das vierte vorgeschlagene Verfahren zur Einstellung der Pumpleistungen der Raman-Pumpquelle verzichtet vollständig auf die Messung des Gewinnspektrums und stellt die Pumpleistungen

alleine anhand des angegebenen Fasertyps der Übertragungsfaser ein. Da das Verfahren damit weder die genauen Fasereigenschaften noch die Einfügedämpfung zwischen Pumpquelle und Übertragungsfaser kennt, kann das resultierende Gewinnspektrum
5 deutlich vom eigentlich gewünschten abweichen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und weiterhin eine Anordnung zur Ermittlung eines Gewinnspektrums anzugeben, die eine einfache Einstellung der Leistungen der Pumpquelle
10 des Raman-Verstärkers ermöglichen und bei denen die zuvor erwähnten Nachteile vermieden werden.

Eine Lösung der Aufgabe erfolgt hinsichtlich ihres Verfahrensaspekts durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und hinsichtlich ihres Vorrichtungsaspekts durch
15 eine Anordnung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 7.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

20

Das vorgeschlagene erfindungsgemäße Verfahren verwendet als Mess-Signal die verstärkte spontane Emission ASE, die von im System vorhandenen optischen Verstärkern, beispielsweise Erbium-dotierten Faserverstärkern EDFAs, generiert wird. Da die
25 Faserverstärker EDFAs im gesamten Signalwellenlängenbereich ein flaches Gewinnspektrum aufweisen müssen, erzeugen sie auch im gesamten Wellenlängenbereich ASE, in dem das Gewinnspektrum der verteilten Raman-Verstärker mit einer breitbandigen Pumpquelle gemessen werden muss. Das ASE-Spektrum weist
30 einen anderen Verlauf auf als das Gewinnspektrum der Faserverstärker EDFAs. Die genaue Form des ASE-Spektrums der Faserverstärker EDFAs spielt für die Gewinnmessung der Raman-Verstärker jedoch keine Rolle. Das zu messende Raman-Gewinnspektrum ergibt sich aus dem Verhältnis der Spektren am
35 Ausgang des Streckenabschnitts mit aus- bzw. eingeschalteter Raman-Pumpquelle und hängt nicht von der Form der Einzel-

spektren ab.

Grundsätzlich ließe sich mit der ASE der Faserverstärker EDFAs das Gewinnspektrum der verteilten Raman-Verstärker völlig ohne vorhandene Signalkanäle messen. Zum Schutz der Faserverstärker EDFAs verfügen bis zur Produktreife weiterentwickelte WDM-Übertragungssysteme üblicherweise über Vorkehrungen, die ein Einschalten der Faserverstärker EDFAs ohne vorhandene Kanäle verhindern. Das Vorhandensein von Signal-Kanälen stört in vorteilhafter Weise das vorgeschlagene Verfahren nicht, da sich das Verhältnis der Spektren am Faserausgang auch mit einer beliebigen Anzahl von Kanälen bestimmen lässt.

Ein Problem bei der Messung des Gewinnspektrums bereitet die vom verteilten Raman-Verstärker selbst generierte ASE. Diese tritt nur bei eingeschalteter Pumpquelle auf und kann damit das Messergebnis verfälschen. Die vom Raman-Verstärker selbst generierte ASE lässt sich durch eine dritte Messung ermitteln und herausrechnen. Dazu wird das Spektrum am Ausgang des Faserabschnitts zusätzlich bei eingeschalteter Raman-Pumpquelle aber mit ausgeschaltetem Faserverstärker EDFA vor dem Streckenabschnitt gemessen. Die dabei beobachteten Spektralanteile müssen von der Messung mit eingeschalteter Pumpquelle und eingeschaltetem Faserverstärker EDFA abgezogen werden.

Der Einfluss der vom Raman-Verstärker selbst generierten ASE stört um so mehr, je näher der Streckenabschnitt am Eingang des Gesamtsystems liegt. In den ersten Streckenabschnitten ist die Leistung der von den Faserverstärkern EDFAs erzeugten ASE noch vergleichsweise klein. Erst in den Streckenabschnitten weiter hinten übersteigt die als Messsignal verwendete, in den vorangegangenen Verstärkern generierte ASE den Anteil, welcher der Raman-Verstärker im betrachteten Streckenabschnitt beisteuert.

Die Genauigkeit der Messung der Gewinnspektren in den vorderen Streckenabschnitten lässt sich durch einen Kunstgriff

steigern. Der Faserverstärker EDFA vor dem ersten Streckenabschnitt (Booster) generiert bei regulärem Betrieb vergleichsweise wenig ASE, da er mit hohen Eingangspegeln arbeitet. Moderne Übertragungssysteme verfügen zumeist über einstellbare Dämpfungsglieder VOA (variable optical attenuator), mit denen sich die Pegel der einzelnen Sender angleichen lassen. Diese Dämpfungsglieder VOAs lassen sich auch zur Absenkung der Eingangspegel in den Booster nutzen. Mit geringeren Eingangspegeln generiert der auf konstante Ausgangsleistung geregelte Booster mehr ASE. Auf diesem Wege lässt sich die vom Booster herrührende ASE stärker wählen als die vom Raman-Verstärker.

Arbeitet das WDM-Übertragungssystem mit mehreren Signalbändern, die in separaten Faserverstärkern EDFAs oder anderen diskreten Verstärkern verarbeitet werden, können die ASE-Spektren dieser Verstärker zur Messung des Gewinnspektrums des verteilten Raman-Verstärkers genutzt werden. Da der verteilte Raman-Verstärker dann alle Signalbänder verarbeiten muss, sollte sich die Gewinnmessung über diese erstrecken. Die diskreten Verstärker erzeugen zwar nur jeweils in einem Band ASE. Das Summensignal der ASE aller diskreten Verstärker deckt aber den gesamten Signalwellenlängenbereich ab. In vorteilhafter Weise können in einem Abschnitt der Übertragungsstrecke mehrere Faserverstärker oder Raman-Verstärker zur Verstärkung eines WDM-Signals in unterschiedlichen spektralen Bereichen angeordnet werden, wobei der Gewinnspektrum eines der Raman-Verstärker nach der erfindungsgemäßen Verfahren ermittelt wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

Dabei zeigt:

Fig. 1: eine Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem ersten Übertragungsabschnitt.

Als Ausführungsbeispiel soll eine in Fig. 1 dargestellte Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens betrachtet werden, die einen ersten Übertragungsabschnitt als Ausschnitt eines WDM-Übertragungssystems beschreibt. An diesem Übertragungsabschnitt ist ein Raman-Verstärker angeschlossen, der eine Pumpquelle PQ mit mehreren Pumpsignalen aufweist. Die Pumpquelle PQ am Ende des Streckenabschnitts verwendet zur Erzeugung der Raman-Pumpstrahlung vier Laserdioden. Pumpsignale der Pumpquelle PQ werden mit Hilfe eines wellenlängenselektiven Multiplexers MUX zusammengefasst. Die Laserdioden erzeugen Signale mit Wellenlängen von 1423 nm, 1436 nm, 1453 nm und 1467 nm. Eine Bandweiche KO1 koppelt die Pumpsignale kontradirektional zur Ausbreitungsrichtung der übertragenen Signale in den Signalpfad bzw. in eine Übertragungsfaser LWL ein.

Der Bandweiche KO1 der Pumpquelle PQ ist im Signalpfad ein Koppler KO2 nachgeschaltet. Mit Hilfe eines dem Koppler KO2 angeschlossenen optischen Spektrumanalysators OSA lässt sich das Spektrum am Ausgang des Streckenabschnitts messen. Der Übertragungsfaser LWL ist ein Verstärker als Booster BO vorgeschaltet. Als Verstärker wird ein Erbium-dotierter Faserverstärker EDFA1 eingesetzt. Es können ebenfalls andere optische Verstärker wie Halbleiterverstärker, Thulium-dotierte Faserverstärker oder diskrete Raman-Verstärker als Booster BO verwendet werden. Dem Booster BO ist ein Multiplexer MUX2 zur Zusammenfassung der zu übertragenden Kanäle eines WDM-Signals vorgeschaltet. Weitere optische Verstärker EDFA2, oder allgemein bezeichnet EDFAs = EDFA1, EDFA2, ..., sind entlang der Übertragungsstrecke dem Koppler KO2 nachgeschaltet.

Bei der Anordnung ist eine Steuereinrichtung SE zum Ein- und Ausschalten von Pumpquellen des Faser-Verstärkers und des Raman-Verstärkers enthalten.

Bei der Inbetriebnahme soll im gewählten Beispiel nur ein einzelner Kanal S1 aus einer Sendeeinheit TX mit einem nachgeschalteten einstellbaren Dämpfungsglied VOA vorhanden sein. Dieser einzelne Kanal S1 reicht aus, um die Sicherheitsabschaltung der Faserverstärker EDFAs zu deaktivieren. Nach dem Einschalten des Senders TX wird das Dämpfungsglied VOA zunächst so eingestellt, dass der Kanal S1 am Eingang des Boosters BO seinen Sollpegel erreicht. Danach wird der Booster BO eingeschaltet. Anschließend wird die Einfügedämpfung des Dämpfungsglieds VOA so weit erhöht, bis der Booster BO genügend verstärkte spontane Emission ASE produziert.

Bei einer ersten Messung eines Spektrums SP1 am Ausgang des Streckenabschnitts mit Hilfe des optischen Spektrumanalysators OSA bleibt die Raman-Pumpquelle PQ ausgeschaltet. Danach wird der Booster BO ausgeschaltet und ein zweites Spektrum SP2 mit eingeschalteter Raman-Pumpquelle PQ gemessen. Bei einer dritten Messung eines dritten Spektrums SP3 wird der Booster BO wieder eingeschaltet. Zur Berechnung des Gewinnpektrums des Raman-Verstärkers wird zunächst das zweite Spektrum SP2 vom dritten Spektrum SP3 abgezogen (beide Spektren in W bzw. W/Hz) und dann die Differenz durch das erste Spektrum SP1 (ebenfalls in W bzw. W/Hz) geteilt. Das Verhältnis $(SP3 - SP2) / SP1$ entspricht dem Spektrum des An/Aus-Gewinns des Raman-Verstärkers. Dem optischen Spektrumanalysator OSA sind eine Bewertungseinheit EE der am optischen Spektrumanalysator OSA aufgenommen Spektren und ein Regler RE zur Steuerung der spektralen Leistungsanteile der Pumpquelle PQ für eine Neuregelung des Gewinnpektrums GS angeschlossen. Die Bewertungseinheit EE ist ebenfalls an der Steuereinrichtung SE zur Synchronisation der Ein- und Ausschaltung der jeweiligen Verstärker mit der Aufnahme der gewünschten Spektren angeschlossen.

Je nach Konfiguration von Übertragungsstrecken kann die verstärkte spontan Emission aus dem Raman-Verstärker vernachlässigt werden, d. h. die Messung des zweiten Spektrums SP2 er-

spart werden. In diesem Fall werden nur zwei Messungen mit ein- und ausgeschalteten Pumpquellen des Raman-Verstärkers bei eingeschaltetem optischen Verstärker durchgeführt. Das Gewinnspektrum GS ist dabei als Verhältnis $SP3/SP1$ zwischen
5 den ersten und dritten Spektren ermittelt.

Nach dem Einpegeln des Raman-Verstärkers im ersten Übertragungsstreckenabschnitt wird der im zweiten Streckenabschnitt folgende Faserverstärker EDFA2 in Betrieb genommen. Anschließend kann die Gewinnmessung des Raman-Verstärkers im zweiten Streckenabschnitt erfolgen. Das erste Spektrum $SP1$ wird wieder mit ausgeschalteter Pumpquelle gemessen, das zweite Spektrum $SP2$ mit eingeschalteter Pumpquelle und ausgeschaltetem EDFA2 vor dem Streckenabschnitt und das dritte Spektrum
10 $SP3$ mit eingeschalteter Raman-Pumpquelle und eingeschaltetem EDFA2. Die Berechnung des Gewinnspektrums erfolgt wie oben beschrieben. In der gleichen Weise lassen sich auch die Gewinnsspektren der folgenden Streckenabschnitte ermitteln.
15

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung eines Gewinnspektrums (GS) eines
5 Raman-Verstärkers in einem WDM-Übertragungssystem, der einem
optischen Verstärker nachgeschaltet ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei aktivem optischen Verstärker und Raman-Verstärker,
bei ausgeschaltetem Raman-Verstärker durch hauptsächlich vom
10 optischen Verstärker verursachte verstärkte spontane Emission
(ASE), erzeugte optische Spektren (SP_i) (i>1) gemessen werden
und dass aus diesen Spektren (SP_i) das Gewinnspektrum (GS)
ermittelt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein erstes Spektrum (SP₁) bei ausgeschalteter Pumpquelle
(PQ) des Raman-Verstärkers und eingeschalteter Pumpquelle des
optischen Verstärkers gemessen wird,
20 dass ein drittes Spektrum (SP₃) mit eingeschalteter Pumpquel-
le PQ des Raman-Verstärkers und eingeschalteter Pumpquelle
des optischen Verstärkers gemessen wird,
dass das Gewinnspektrum (GS) des Raman-Verstärkers nach der
folgenden Regel errechnet wird: $GS = \frac{SP_3}{SP_1}$.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein erstes Spektrum (SP₁) bei ausgeschalteter Pumpquelle
(PQ) des Raman-Verstärkers und eingeschalteter Pumpquelle des
optischen Verstärkers gemessen wird,
30 dass ein zweites Spektrum (SP₂) bei eingeschalteter Pumpquel-
le (PQ) des Raman-Verstärkers und ausgeschalteter Pumpquelle
des optischen Verstärkers gemessen wird,
dass ein drittes Spektrum (SP₃) mit eingeschalteter Pumpquel-
35 le PQ des Raman-Verstärkers und eingeschalteter Pumpquelle
des optischen Verstärkers gemessen wird,

dass das Gewinnspektrum (GS) des Raman-Verstärkers nach der folgenden Regel errechnet wird: $GS = \frac{SP3 - SP2}{SP1}$.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass bei Übertragungstrecken mit weiteren optischen Verstärkern und weiteren Raman-Verstärkern durch deren Ein- und Ausschalten von deren Pumpquellen weitere Spektren gemessen werden und daraus die Gewinnspektren der Raman-Verstärker ermittelt werden.
10
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei Inbetriebnahme einer Übertragungstrecke mit mehreren Abschnitten, die wenigstens einen optischen Verstärker und einen Raman-Verstärker enthalten, die Ermittlung der Gewinnspektren (GS) abschnittsweise durchgeführt wird.
15
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass zur Ermittlung des Gewinnspektrums (GS) die Kanalsignale gedämpft werden, so dass am Ausgang des optischen Verstärkers eine hohe verstärkte spontane Emission (ASE) auftritt.
7. Anordnung zur Ermittlung/Messung eines Gewinnspektrums (GS) eines Raman-Verstärkers in einem WDM-Übertragungssystem, der einem optischen Verstärker nachgeschaltet ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Anordnung einen optischen Spektrumanalysator (OSA) und eine Steuereinrichtung (SE) zum Ein- und Ausschalten von Pumpquellen des optischen Verstärkers und des Raman-Verstärkers enthält,
30 dass dem optischen Verstärker eine Dämpfungsvorrichtung (VOA) vorgeschaltet ist, die bei einer Messung Kanalsignale (S1) unterdrückt, so dass dem Raman-Verstärker ein Signal mit hoher verstärkter spontaner Emission (ASE) zugeführt wird.
35

8. Anordnung nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass dem optischen Spektrumanalysator (OSA) eine Bewertungs-

5 einheit (EE) von am optischen Spektrumanalysator (OSA) aufgenommen Spektren und ein Regler (RE) zur Steuerung der spektralen Leistungsanteile der Pumpquelle (PQ) angeschlossen sind.

10 9. Anordnung nach Anspruch 7 oder 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass als optischer Verstärker ein Faserverstärker (EDFA1, EDFA2, ...), ein Halbleiterverstärker oder ein diskreter Raman-Verstärker vorgesehen ist.

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Ermittlung des Gewinnspektrums eines Raman-Verstärkers mit einem vorgeschalteten optischen Verstärker in einem Abschnitt eines WDM-Übertragungssystems. Am Ausgang des Raman-Verstärkers werden mehrere Spektren aufgenommen, wobei der optische Verstärker oder der Raman-Verstärker ein- und ausgeschaltet werden und wobei eine hohe verstärkte spontane Emission am Eingang des Raman-Verstärkers erzeugt wird. Anschließend wird das Gewinnspektrum mittels der aufgenommenen Spektren ermittelt.

Fig. 1

